

# La industria del motor de reacción en España: el EJ-200 del EFA

CARLOS SANCHEZ TARIFA,  
*Dr. Ingeniero Aeronáutico. Sener. Ingeniero Jefe, Programa EFA*

## ANTECEDENTES

**L**A decisión de participar en el programa del avión de combate europeo (EFA) ha tenido una doble importancia para nuestro país: por una parte, se colabora en un programa de avanzada tecnología, el más avanzado en su género en Europa; con el importante impulso tecnológico que ello representa para la industria aeronáutica española; y por otra parte se ha facilitado la instalación en España de una industria de desarrollo y fabricación de motores de reacción, cuya ausencia era una anomalía en el contexto aeronáutico europeo (cuadro n.º 1) sobre todo considerando la importancia de Iberia a nivel europeo y el de las Fuerzas Aéreas de nuestro país.

España tuvo una importante industria de motores alternativos de aviación, siendo interesante señalar que en la década del 40 y parte de la del 50, cuando en España aún no existía fabricación de motores de automoción, ya se volaba con motores nacionales, incluso de diseño propio.

También en la década del 50 se desarrolló en España un motor de reacción, el INI-11, ensayándose dos motores prototipo en el INTA.

Aquella importante industria se la dejó desaparecer, con un desinterés tantas veces repetido en nuestro país en cuestiones técnicas; sobre todo las españolas.

La falta de industria del motor ha venido costando a nuestro país en los últimos años, por término medio, de 50.000 a 60.000 millones de pesetas anuales en motores de aviación y repuestos.

Por ello se considera tan importante la decisión de participar en el motor del programa EFA, lo que ha permitido, como ya se ha señalado, que comience a subsanarse la citada anomalía.

## EL TURBORREACTOR EJ-200

**E**L programa del avión de combate europeo ya ha sido expuesto en esta Revista, por lo que la explicación se centrará en su motor, el EJ-200. Se recuerda que el programa es clasificado, por lo que no puede transcribirse nada más que los datos del mismo autorizados para su publicación. Por ello, resulta inevitable que no se precise en las descripciones.

### Características generales del motor

El EJ-200 es un turborreactor de doble flujo o turbofán (figura 1) con post-combustión optimizado para un avión cuya misión principal es el combate aéreo.

Los principales módulos del motor son: un compresor de baja o "fan" de tres escalones, un compresor de alta de cinco escalones, una cámara de combustión anular, una turbina de alta de un solo escalón, una turbina de baja, también de un solo escalón, un post-combustor y una tobera convergente-divergente de sección variable. Los dos conjuntos compresor-turbina de alta y de baja son contra-rotatorios.

El control del motor está por completo digitalizado, contando también el motor con una unidad de vigilancia del funcionamiento del mismo.

Cuadro Núm. 1

### FABRICANTES EUROPEOS DE MOTORES DE AVIACION\*

ALEMANIA .....	MTU, HHD, HIRTH, PORSCHE
BELGICA .....	FN Merstaal
CHECOSLOVAQUIA .....	AEROTECHNIK, AVIA, MOTORLET
FINLANDIA .....	VALMET
FRANCIA .....	SNECMA, MICROTURBO, FAM, TURBOMECA
GRECIA .....	HELLENIC AEROSPACE
ITALIA .....	FIAT, ALFA ROMEO, PIAGGIO
NORUEGA .....	KONSBERG
POLONIA .....	JANOWSKI, IL, WSK-PZL-KALISZ, WSKPZL-REZESZOW
SUECIA .....	VOLVO FLYGMOTOR
UK .....	ROLLS-ROYCE, PIPER, NPT
URSS .....	ISOTOV, IVCHENKO, KUTNETSOV, LOTAREV, SOLOVIEV, TUMANSKY

\* No se incluyen los fabricantes de pequeños motores para ultraligeros o RPV.

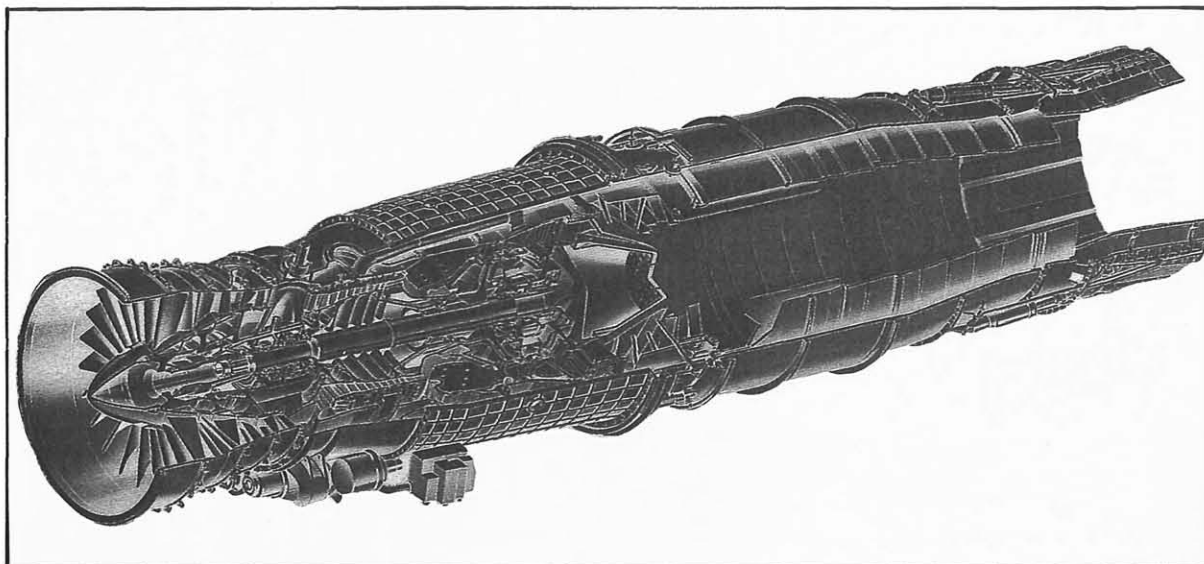


Figura 1. Motor EJ-200.

El motor presenta características extraordinariamente avanzadas en comparación con las de los motores de aviones de combate actualmente en servicio.

En primer lugar, la temperatura de fin de combustión es muy elevada, lo que ha sido posible gracias a la utilización de avanzadas técnicas de refrigeración pelicular y de materiales para altas temperaturas de avanzada tecnología, tales como álabes de turbina de tipo monocristal y discos de turbina fabricados mediante pulvimetalurgia. Con ello se ha conseguido un valor elevado de la relación empuje/gasto de aire, lo que unido a un diseño extraordinariamente compacto le proporciona al motor una relación empuje/peso del orden de 10/1, muy superior a la de cualquier otro motor de combate.

Una de las características más singulares del diseño compacto del motor es el pequeño número de escalones del compresor: 8, en comparación con los 10 del General Electric F-404, o los 11 del Pratt and Whitney F-100, teniendo todos ellos relaciones de compresión parecidas, del orden de 25/1.

También se está investigando introducir en los escalones del compresor álabes directamente unidos a los discos ("blisks"), avanzada tecnología solamente utilizada hasta el momento actual en pequeños álabes de turboejes de helicópteros, lo que permite reducir el peso del motor.

En el motor y en sus accesorios se han utilizado en todo lo posible materiales ligeros y se ha empleado el proceso de fresado químico en elementos tales como el conducto del flujo secundario y en el cárter exterior del post-combustor para aligerarlos al máximo contribuyendo todo ello al valor excepcionalmente elevado de la relación empuje/peso.

Otra característica importante del motor es la ausencia de álabes guías de entrada de incidencia variable. Estos álabes son necesarios en los aviones de combate para evitar la entrada en pérdida ("surge" o "stall") del compresor de baja. Esta pérdida puede producirse en maniobras asimétricas, frecuentes en un avión de combate o al ingerir el motor gases calientes al disparar sus misiles.

El diseño aerodinámico de los álabes del compresor de baja o "fan", de ancha cuerda, realizado con programas tridimensionales, ha proporcionado un elevado margen de seguridad para dicha pérdida, manteniendo un excelente rendimiento del compresor y una elevada relación de compresión, lo que ha permitido la eliminación de dichos álabes guías.

### **Optimización**

El diseño del motor se ha realizado optimizándolo para el combate aéreo, de acuerdo con la misión principal del avión EFA.

Las dos principales misiones de un avión de combate son el ataque al suelo y el combate aéreo. Un avión no puede optimizarse para las dos misiones, ya que el combate aéreo requiere una gran maniobrabilidad con una relativamente baja carga alar, mientras que el avión optimizado para el ataque al suelo requiere una carga alar elevada y un perfil de ala de mayor espesor.

Lo mismo acontece para el motor, cuyas características son diferentes según la misión para la que se optimice.

En la misión esencial de interceptación de un avión de combate, el avión despegue, asciende y llega hasta la interceptación del blanco con el post-combustor encendido, por lo que en el tiempo total de la misión, puede consumirse del 75% al 85% del combustible con el post-combustor en marcha. Por el contrario, en una misión de ataque al suelo solamente se utiliza el post-combustor durante el despegue y durante el

ataque al blanco, no consumiéndose generalmente en esta misión más del 10% del combustible con el post-combustor encendido.

En un motor optimizado para un avión de combate aéreo, como en el caso del EJ-200, es vital que el consumo de combustible sea lo más bajo posible con el post-combustor encendido. Ello obliga a relaciones de compresión elevadas en el compresor de baja, o lo que es equivalente, en el post-combustor. Ahora bien, la igualdad de presiones de los flujos primario y secundario en el post-combustor, proporciona una relación entre la presión del compresor de baja, la relación de flujos y la temperatura de fin de combustión. Presiones altas del compresor de baja implican valores pequeños de la relación de flujos, lo que reduce el consumo específico en régimen de combate en vuelo supersónico con el post-combustor encendido. Por el contrario, en vuelo subsónico con el post-combustor apagado son convenientes relaciones elevadas de la relación de flujos.

Finalmente se seleccionó una relación de flujos del orden de 0,4, con lo que se mantiene la prioridad del combate aéreo, pero que permite que el consumo de combustible sea satisfactorio en misiones en las que el vuelo en subsónico es de larga duración.

## MODULOS DE SENER

**L**a distribución de módulos del motor por compañías se muestra en la figura 2. Sener tiene a su cargo la tobera convergente-divergente, el difusor de salida de la turbina ("exhaust diffuser"), el conducto del flujo secundario ("by-pass duct"), la carcasa exterior del post-combustor y las conducciones externas de fluidos y eléctricos del motor (figuras 3a y 3b).

Una tobera convergente-divergente de sección variable para un avión con post-combustor es un módulo de compleja tecnología. Esta clase de toberas se emplean en todos los modernos aviones americanos de combate, pero es la primera vez que se utiliza en Europa Occidental\*, por lo que esta tecnología no solamente ha sido nueva para Sener sino para todo el consorcio de empresas.

La tobera está constituida por pétalos convergentes y divergentes, con un sistema de actuación que regula las áreas de garganta  $A_g$  y de salida  $A_s$ .

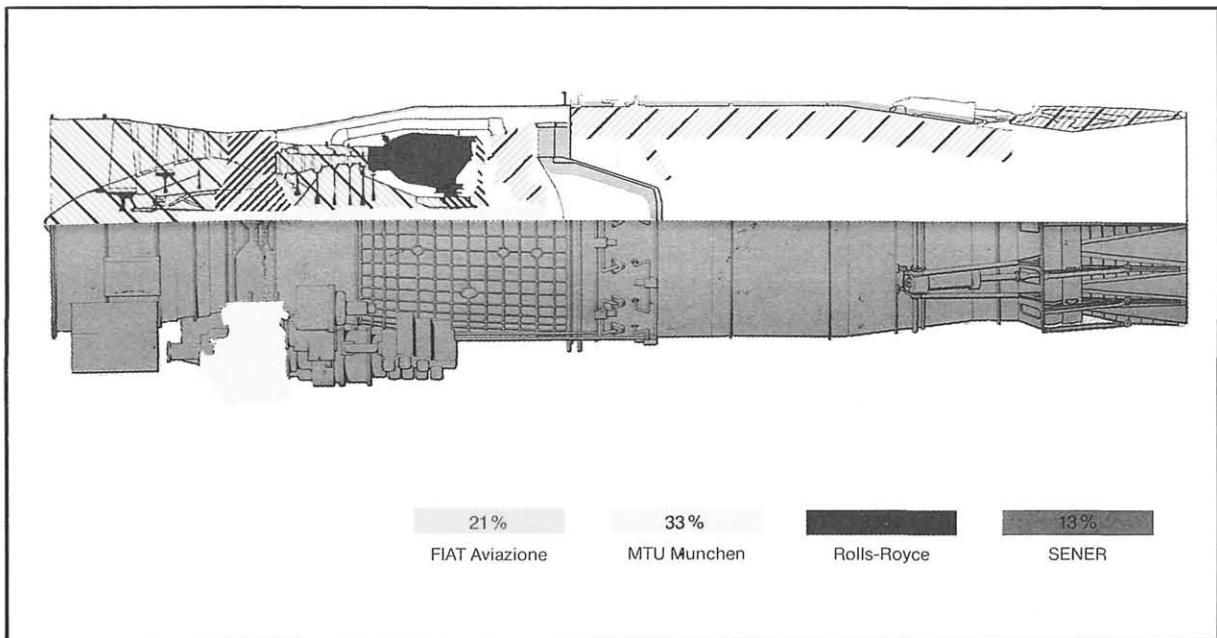


Figura 2. Distribución de los módulos del motor por compañías.

Para conseguir la máxima ganancia de empuje, es necesario que dichas áreas adopten valores prefijados e independientes para cada condición de vuelo (altura y número de Mach) (figura 4).

Ello obligaría a disponer dos sistemas de actuación independientes con la consiguiente penalidad en peso y coste.

Puede utilizarse un sistema de actuación único, imponiendo una ligadura mecánica  $A_s = f(A_g)$ , pero ello hace imposible optimizar el funcionamiento de la tobera para condiciones de vuelo tan diferentes como el combate en altura, despegue y crucero (figura 4).

\* Se exceptúa la sencilla tobera convergente-divergente del motor Olympus del avión Concorde.

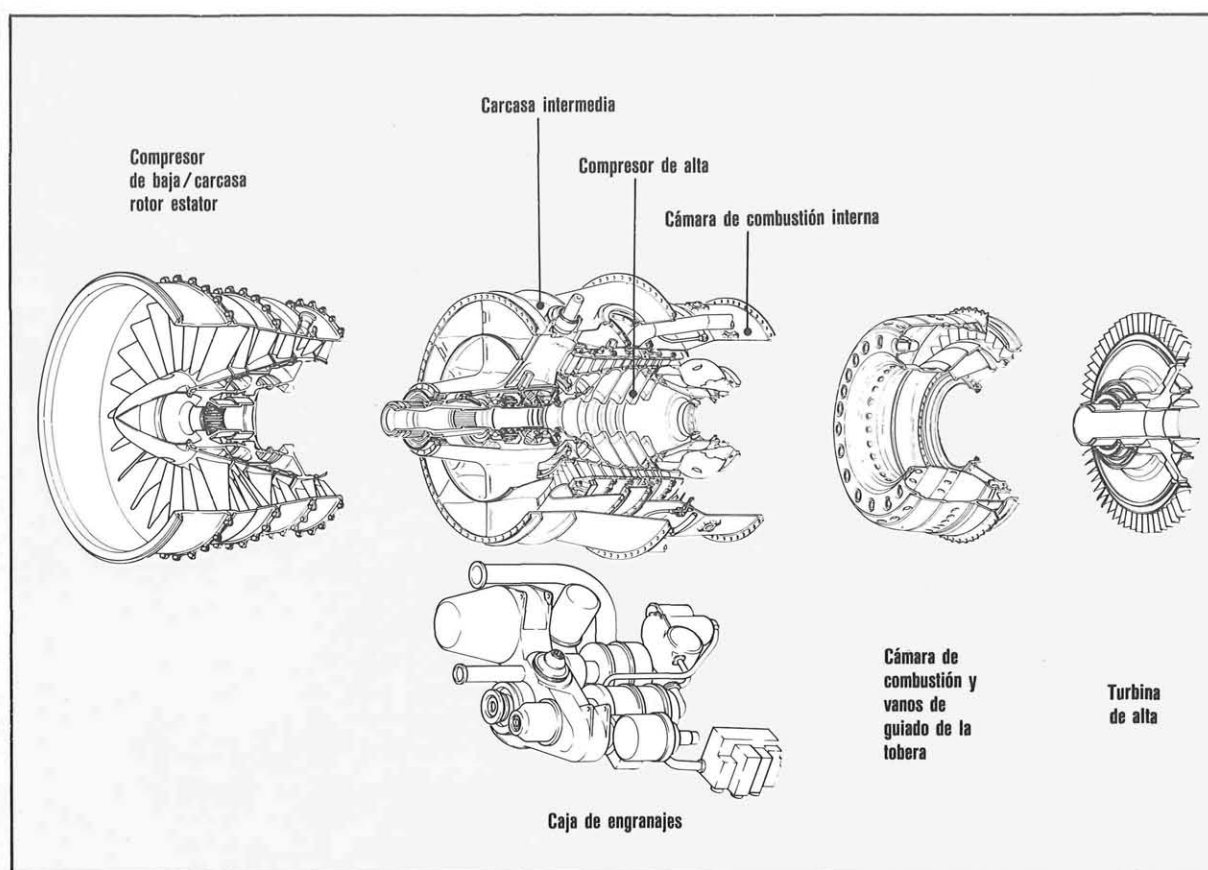


Figura 3a. Módulos del motor.

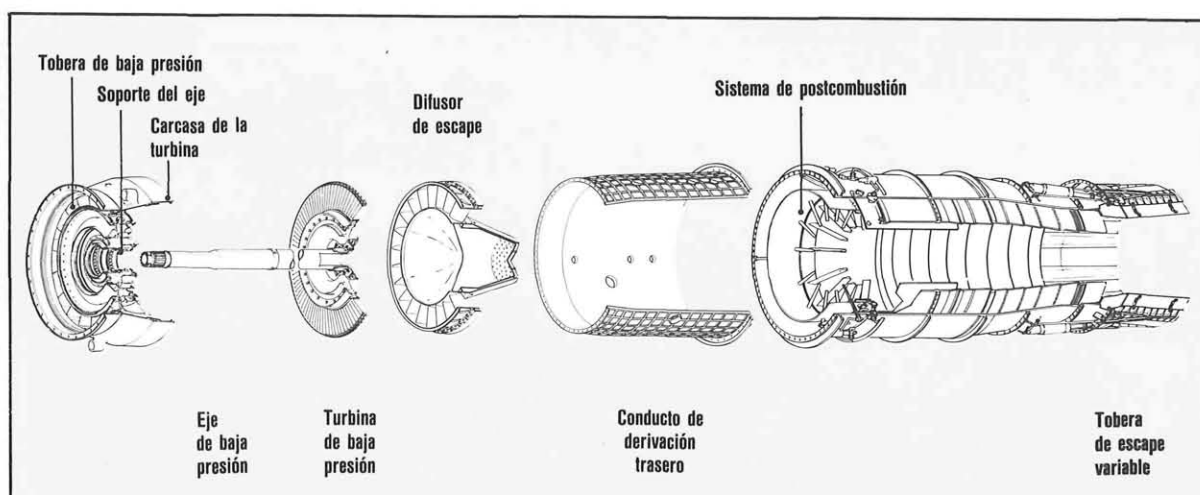


Figura 3b. Módulos del motor en los que se incluyen los de SENER.

En el EJ-200 se ha adoptado una solución intermedia con un solo sistema de actuación, pero con performances que se aproximan a las que proporcionan un doble sistema de actuación.

En todos los motores de esta clase, la tobera presenta difíciles problemas de refrigeración, ya que soporta la alta temperatura de los gases del post-combustor, y la disposición de sus pétalos no permite el tipo de refrigeración pelicular que se utiliza con tanta eficacia en cámaras de combustión y post-combustores. El problema ha sido resuelto por Sener mediante desarrollos teóricos y con la ayuda de ensayo de modelos a escala.

El difusor de salida de la turbina es un componente relativamente sencillo y que no necesita refrigeración en otros motores; pero en el EJ-200 la elevada temperatura de los gases hacen que este módulo

necesite refrigeración, habiéndose utilizado un sistema de refrigeración por impacto de chorros ("impinging cooling") de concepción avanzada.

También el diseño de sus álabes, con elevadas cargas aerodinámicas, requirió la utilización de métodos de cálculo de reciente desarrollo y ensayos sobre modelos.

El conducto del flujo secundario asignado a Sener, incluye el estudio aerodinámico del mismo, con numerosos conductos que lo atraviesan, y el diseño y fabricación de la carcasa. Esta se ha diseñado con una pared extraordinariamente delgada y una estructura reticular de soporte de la misma. Con esta disposición resulta la pieza extraordinariamente ligera, fabricándose mediante fresado químico.

Una configuración parecida tiene la carcasa exterior del post-combustor.

Finalmente, se señala que las conducciones externas se han construido con materiales muy ligeros. En las conducciones de fluidos se ha empleado el titanio por primera vez en motor de diseño europeo.

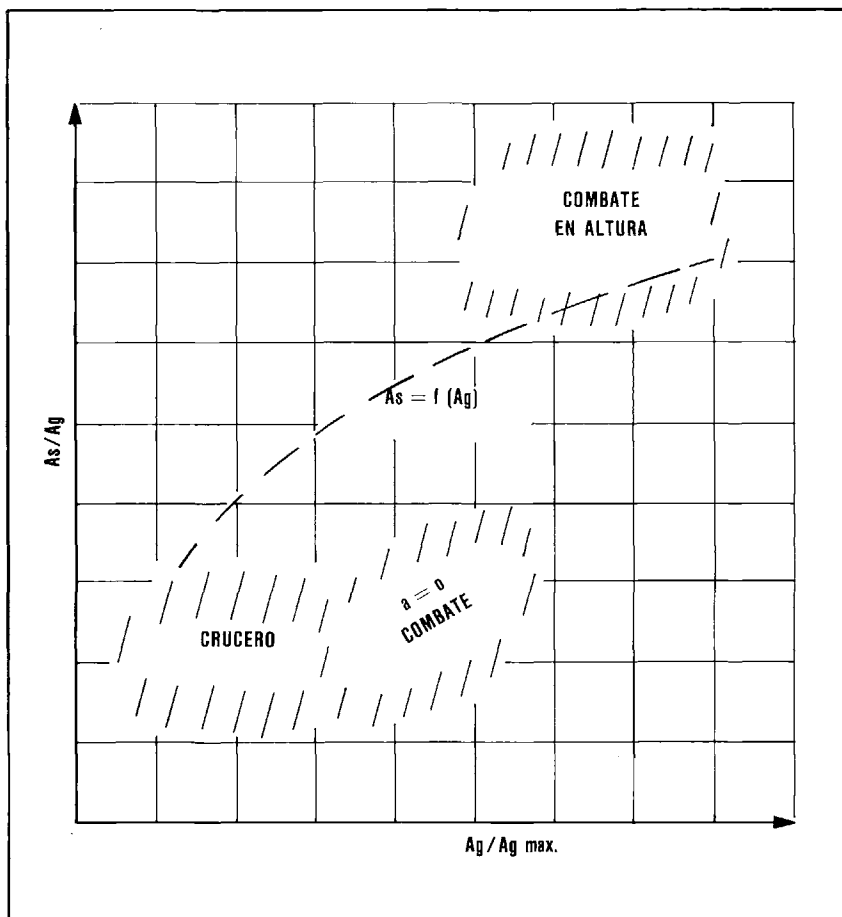


Figura 4. Optimización de la tobera.

## PROGRAMA DE DESARROLLO

**E**L programa de desarrollo del EJ-200 se encuentra considerablemente avanzado. Actualmente se están ensayando en banco tres motores denominados de verificación de diseño (figuras 5 y 6) en las instalaciones de Fiat, MTU y Rolls-Royce; pruebas que están resultando altamente satisfactorias.

En fecha relativamente próxima entrarán también en período de pruebas los motores ya aptos para el vuelo. Parte de estos ensayos ya se efectuaron también en España.

Está prevista una fabricación inicial de unos 2.000 motores, que empezarán a entrar en servicio a partir de la mitad de la próxima década.

## INDUSTRIA DE TURBO PROPULSORES (ITP)

**R**ECIENTEMENTE ha sido firmado el acuerdo de constitución de esta empresa; a la que será transferido el contrato de desarrollo del EJ-200 y posteriormente fabricará para los cuatro países los componentes españoles del motor. En ella se procederá también al montaje y pruebas de los motores EJ-200 de los aviones EFA que adquiera nuestro país.

La creación de una empresa de motores viene siendo promovida por Sener desde hace ya varios años.

Precisamente se encontraba la constitución de la empresa en fase de gestión (partiendo del programa FACA) cuando España se adhirió a la Fase de Viabilidad del programa EFA; asignándose a Sener la participación en el motor EJ-200 en marzo de 1985.

Como es sabido, el programa EFA ha tenido que superar diversas vicisitudes: la aprobación inicial de la Fase de Definición, una vez retirada Francia; el referendun de la NATO en España, y diversas incertidumbres durante más de un año, durante el cual las empresas trabajaron sin contrato alguno.

Desde finales del año pasado el programa EFA se aprobó definitivamente y, hace poco tiempo, se firmó el acuerdo de formación de ITP, tanto por el Gobierno español como por todos sus socios participantes.

La empresa está controlada por una sociedad de cartera que participa con un 51% en ITP. La sociedad de cartera está constituida por Sener (50%), CASA (25%) y BAZAN (25%), ROLLS ROYCE participa con un 45% en ITP y el Banco de Bilbao-Vizcaya participa con el restante 4%.

ITP tendrá una fábrica de componentes en las proximidades de Bilbao, y se incorpora a la misma la planta de motores de CASA, en Ajalvir, que se ampliará para realizar el montaje y ensayo de los motores EJ-200, y de otros motores que se desarrollen en el futuro.

La empresa contará también con un departamento de proyectos.

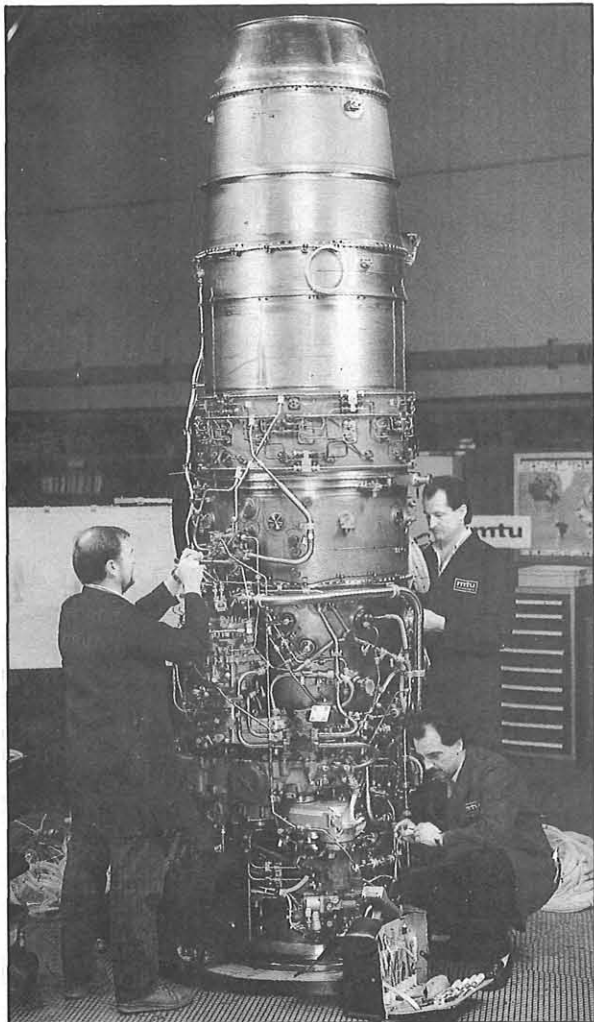


Figura 5. Motor EJ-200 de verificación de diseño en la MTU.

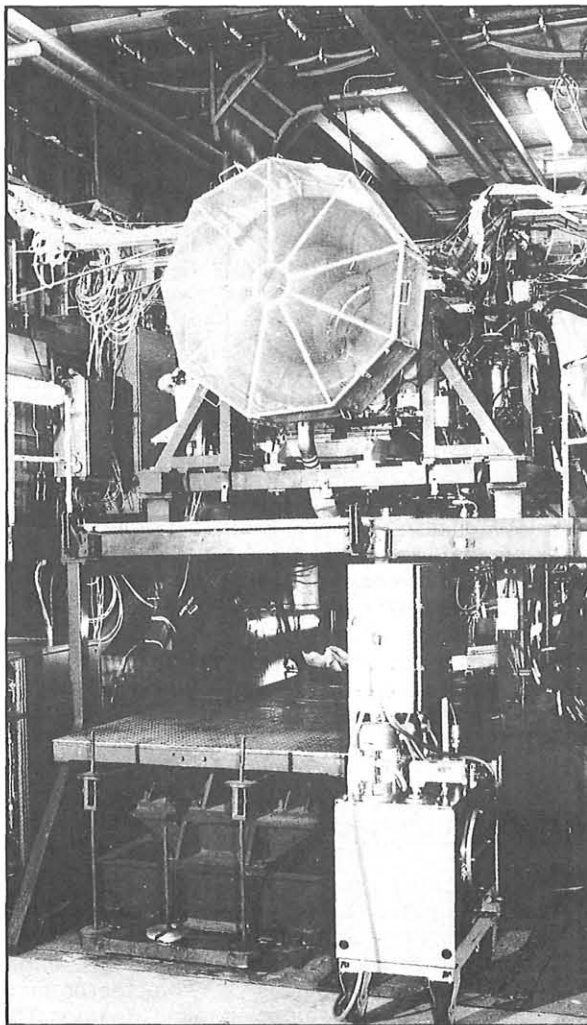


Figura 6. Motor EJ-200 en un banco de ensayos de MTU.

La empresa de motores ITP se ha constituido en un momento extraordinariamente favorable, ya que además del desarrollo y fabricación del EJ-200, lo que supone una importante facturación para los próximos años, se han encontrado con un "boom" extraordinario en el campo de la aviación comercial. Recientes estudios de mercado estiman unas ventas de motores en los próximos veinte años de unos 154 mil millones de ECU,s en motores civiles y unos 159 mil millones en motores militares. De estas facturaciones se espera que al menos un 30% corresponda a las empresas de motores del Mercado Común. ■

#### REFERENCIAS

1. EUROJET. Folleto sobre el EJ-200.
2. Sánchez Tarifa, C.: Desarrollo y Producción de Motores de Reacción. Perspectivas Nacionales. Revista IAA, número 261, 1985.
3. Sánchez Tarifa, C., y Mera Díaz, E.: A Study for the Optimization of Jet Engines for Combat Aircrafts. International Congress for Air Breathing Engines. Proceedings. Evendale. Ohio. USA. 1987.
4. Wragg, J. D.: A Combat Engine for Europe-EJ-200 Aerospace, enero 1989.